

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
11. Januar 2007 (11.01.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/003637 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01N 29/02 (2006.01) *H03H 3/007* (2006.01)
G01N 29/036 (2006.01) *B81B 3/00* (2006.01)
G01N 33/00 (2006.01)

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): GRAHMANN, Jan
[DE/DE]; Eggersdorferstr. 31, 10315 Berlin (DE).
STECKENBORN, Arno [DE/DE]; Stadtrandstr. 467 B,
13589 Berlin (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/063848

(22) Internationales Anmeldedatum:

4. Juli 2006 (04.07.2006)

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2005 032 684.6 6. Juli 2005 (06.07.2005) DE

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US*): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

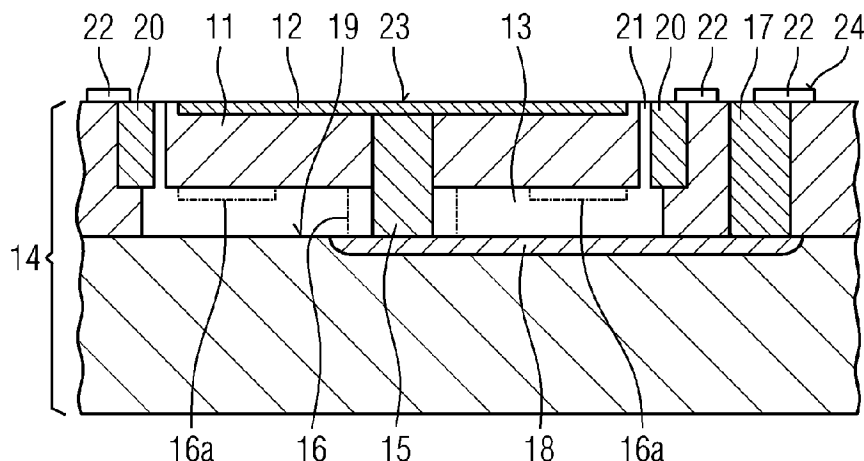
(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (*soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart*): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP,
KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT,
LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA,
NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC,
SD, SE, SG, SK, SI, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: RESONATOR-DETECTOR FOR THE ACOUSTIC IDENTIFICATION OF PARTICLES IN A GASEOUS ATMOS-
PHERE AND METHOD FOR THE DESIGN THEREOF

(54) Bezeichnung: RESONATOR-DETEKTOR ZUM AKUSTISCHEN NACHWEIS VON TEILCHEN IN EINER GASFÖRMI-
GEN ATMOSPHERE UND VERFAHREN ZU DESSEN AUSLEGUNG



(57) Abstract: The invention relates to a detector for identifying particles, especially gas molecules, that are added to an oscillatory system (11). According to the invention, the oscillatory system is formed by a plate resonator (11) to which a layer (12) is applied. The gas molecules to be identified are added to the layer (12), whereby the oscillating behaviour of the plate resonator (11) changes as a result of the material increase. Advantageously, a very high sensitivity up to the ppb range is reached as the inventive embodiment of the plate resonator (11) provided with a coating (12) enables oscillation modes, in which the plate resonator is not only deflected in the plane thereof, but also perpendicularly thereto, to be adjusted. The inventive plate resonator can be used, for example, in miniaturised gas analysis systems, in which the smallest gas quantities and concentrations must be identified. The inventive plate resonator can also be used as a fire detector.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/003637 A1



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), curasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Gegenstand der Erfindung ist ein Detektor zum Nachweis von Teilchen, insbesondere Gasmolekülen, die zu diesem Zweck auf einem schwingungsfähigen System (11) angelagert werden. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das schwingungsfähige System durch einen Plattenresonator (11) gebildet wird, auf dem eine Schicht (12) angebracht ist. Auf der Schicht (12) werden die nachzuweisenden Gasmoleküle angelagert, wodurch sich das Schwingungsverhalten des Plattenresonators (11) aufgrund der Massenzunahme verändert. Dabei wird vorteilhaft eine sehr hohe Empfindlichkeit bis in den ppb-Bereich erreicht, da sich aufgrund der erfindungsgemäßen Ausgestaltung des Plattenresonators (11) mit einer Beschichtung (12) Schwingungsmoden einstellen, bei denen der Plattenresonator nicht nur in seiner Ebene ausgelenkt wird, sondern auch senkrecht zu dieser. Der erfindungsgemäße Plattenresonator kann beispielsweise in miniaturisierten Gasanalysesystemen Anwendung finden, in denen kleinste Gasmengen und insofern auch geringste Konzentrationen nachgewiesen werden müssen. Eine andere Anwendungsmöglichkeit ist die Verwendung als Brandmelder.

Beschreibung

RESONATOR-DETEKTOR ZUM AKUSTISCHEN NACHWEIS VON TEILCHEN IN EINER GASFÖRMIGEN ATMOSPHERE UND VERFAHREN ZU DESSEN AUSLEGUNG

5

Die Erfindung betrifft einen Detektor zum Nachweis von Teilchen, insbesondere Gasmolekülen oder auch Nanopartikeln in einer gasförmigen Atmosphäre, aufweisend ein schwingungsfähiges System mit einer Oberfläche, die spezifisch die nachzuweisenden Teilchen an sich binden kann, einen Anregungsmechanismus, der zur Schwingungsanregung Energie in das schwingungsfähige System einleiten kann und eine Schnittstelle zum Auslegen einer Messgröße, die sich abhängig von der Frequenz des schwingungsfähigen Systems ändert.

15

Ein derartiger Detektor ist als Brandschutzmelder, beispielsweise aus der EP 982 588 A1 bekannt. In diesem Brandschutzmelder kommt ein schwingungsfähiges System zur Anwendung, dessen Oberfläche mit einem molekular geprägten Polymer beschichtet ist (auch Molecular Imprinted Polymer genannt und im Folgenden mit MIP abgekürzt). Dieses wird derart hergestellt, dass während der Bildung der Polymerschicht die nachzuweisenden Partikel, z. B. Rauchgaspartikel in der Polymermatrix eingebettet werden und nach deren Aushärtung aus dieser Matrix herausgelöst werden. Die dadurch entstehenden Poren sind selektiv zur Aufnahme der bei der Herstellung eingebetteten Rauchgaspartikel geeignet, so dass sich im Falle des Auftretens von Rauch erneut Rauchgaspartikel in die betreffende Schicht einlagern. Dies verändert die Resonanzfrequenz des schwingungsfähigen Systems aufgrund der Massenzunahme.

30

Das schwingungsfähige System wird gemäß der EP 982 588 A1 durch einen Oberflächenwellengenerator gebildet. Dieser be-

steht aus auf der Oberfläche aufgebrachten Elektroden, die auf der Oberfläche des schwingungsfähigen Systems sich ausbreitende Wellen erzeugen. Je nach Beladungszustand der Beschichtung breiten sich diese Wellen (auch Surface Accoustic Waves, kurz SAW genannt) mit unterschiedlicher Geschwindigkeit aus. Die Laufgeschwindigkeit kann durch ein gegenüber dem aussendenden Elektrodenpaar angeordneten Elektrodenpaar ermittelt werden. Für Rauchgaspartikel können gemäß der EP 982 588 A1 Nachweisempfindlichkeiten bis in den ppb-Bereich erzeugt werden.

Detektoren der eingangs genannten Art werden auch zur Detektion von Gasmolekülen verwendet. Als Beschichtung kommen hierbei Polymerschichten zum Einsatz, an die bestimmte Gasmoleküle angelagert werden können. Hierbei ist die Massenzunahme verhältnismäßig geringer als bei der Anlagerung von Nanopartikeln, weswegen die derzeit erreichbaren Empfindlichkeiten für die Detektion von Gasmolekülen noch im zweistelligen ppm-Bereich liegen.

20

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Detektor für Teilchen zu schaffen, der eine verbesserte Empfindlichkeit aufweist und daher auch eine hohe Empfindlichkeit für den Nachweis von Gasmolekülen besitzt.

25

Diese Aufgabe wird mit dem eingangs genannten Detektor erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das schwingungsfähige System durch einen Plattenresonator ausgebildet ist, der mit einer Schicht beschichtet ist, die die Oberfläche für die nachzuweisenden Teilchen zur Verfügung stellt. Die Auswahl eines Plattenresonators als schwingungsfähiges System hat den Vorteil, dass eine Miniaturisierung der Bauweise des Plattenresonators durch mikromechanische Verfahren einfach realisiert

30

werden kann. Dabei hat es sich überraschenderweise gezeigt, dass sich die Empfindlichkeit des Systems aufgrund der Miniaturisierung in einem sehr viel stärkeren Maße verzeichnen lässt, als dies bei einer Abnahme der Masse des schwingungsfähigen Systems aufgrund der Miniaturisierung hätte erwarten lassen. Zwar sind mikromechanisch hergestellte Systeme mit Plattenresonatoren beispielsweise durch Ville Kaajakari u.a. in "Square-Extensional Mode Single-Chrystal Silicon Micromechanical RF-Resonator", Transducers 2003, pp. 951- 954 und durch Siavash Pourkamali in "SOI-Based HF and VHF Single-Chrystal Silicon Resonators with Sub-100 Nanometer Vertical Capacitiv Gaps", Transducers 2003, pp 837-840 beschrieben. Jedoch sollen diese schwingungsfähigen Systeme eine möglichst konstante Frequenz aufweisen, um in elektronischen Systemen beispielsweise auf Leiterplatten als Taktgeber eingesetzt zu werden. Im Unterschied hierzu zielt die erfindungsgemäße Verwendung der mikromechanisch hergestellten Plattenresonatoren darauf, eine möglichst empfindliche Abhängigkeit der Resonanzfrequenzen des Plattenresonators von einer Veränderung der schwingenden Masse zu erreichen. Hierdurch können nämlich an die Beschichtung angelagerte Teilchen wie Gasmoleküle mit einer hohen Empfindlichkeit nachgewiesen werden, so dass eine Nachweisgenauigkeit auch bei Anwendungen für den Nachweis von Gasmolekülen vorteilhaft in den ppb-Bereich gelangt.

Der überraschende Effekt einer überdimensionalen Steigerung der Empfindlichkeit lässt sich darauf zurückführen, dass die Beschichtung auf dem Plattenresonator die Eigenschwingungsformen, die durch eine Anregung erreicht werden können, stark beeinflusst. Hierbei sind Eigenschwingungsformen (Moden) zu erreichen, die eine mehrfache Verwindung des Plattenresonators in sich aufweisen und so zu wesentlich stärker ausgeprägten Schwingungsformen führen, als dies bei den in den ge-

nannten Aufsätzen beschriebenen Schwingungen der Fall ist.
Diese komplexen Moden reagieren hinsichtlich ihrer Resonanz-
frequenzen auch wesentlich empfindlicher auf eine Veränderung
der Masse des Plattenresonators, wodurch die hohe Empfind-
5 lichkeit des Detektors zu erklären ist.

Weiterhin steigern die beobachteten Schwingungsmoden überr-
schenderweise auch die Dämpfung des Plattenresonators in der
Gasatmosphäre in wesentlich geringerem Maße, als die durch
10 die Schwingungsbewegung zu erwarten wäre. Dies lässt sich da-
mit erklären, dass die Schwingungsmoden zu Verformungszustän-
den des Plattenresonators führen, die es nicht erforderlich
machen, dass die an die Oberflächen des Plattenresonators an-
grenzenden Luftschichten komplett verdrängt werden, sondern
15 die eine jeweilige lokale Verschiebung der Galmoleküle der
angrenzenden Gasschichten zwischen den schwingenden Arealen
des Plattenresonators erlauben. Dadurch wird die Gasbewegung
an der Grenzfläche des Plattenresonators verringert, weswegen
dem schwingenden Plattenresonator auch ein geringerer Ener-
20 giebetrag entzogen wird (dies bedeutet eine geringere Luft-
dämpfung). Diese Zusammenhänge werden im Folgenden anhand der
graphischen Darstellungen in der Zeichnung näher erläutert.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist
25 vorgesehen, dass der Plattenresonator insbesondere eine zent-
ralsymmetrische Oberseite aufweist und im Flächenschwerpunkt
mit einer säulenartigen Aufhängung gehalten ist. Diese Auf-
hängung lässt sich mit dem Stamm eines Baumes vergleichen,
wobei der Plattenresonator dann so zu sagen die Baumkrone
30 bildet. Der insbesondere zentralsymmetrische Aufbau des Plat-
tenresonators kann beispielsweise durch eine quadratische o-
der runde Oberfläche gewährleistet sein. Mit der säulenarti-
gen Aufhängung lässt sich vorteilhaft ein schwingungsfähiges

System erzeugen, deren Aufhängung verhältnismäßig steif ist und gleichzeitig das Schwingungsverhalten des Plattenresonators aufgrund der punktuellen Ausdehnung wenig beeinflusst. Dies ermöglicht die weitgehend ungestörte Ausbildung der bereits erwähnten Schwingungsmoden.

Gemäß einer anderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Plattenresonator am Rand mit einer oder mehreren gleichmäßig verteilten stegartigen Aufhängungen in einer Vertiefung gehalten ist. Die stegartigen Aufhängungen bilden somit so zu sagen Brücken zwischen dem Plattenresonator und dem Rand der Vertiefung aus, wobei der Plattenresonator bezüglich des Vertiefungsbodens derart gehalten ist, dass er diesen bei der Ausbildung der Schwingungsbewegungen nicht berührt. Die gleichmäßige Unterbringung der stegartigen Aufhängungen unterstützt die Ausbildung von Schwingungsmoden, die aufgrund der homogenen Materialeigenschaften des Plattenresonators regelmäßige Geometrien aufweisen. Die stegartigen Aufhängungen lassen sich vorteilhaft sehr einfach herstellen, wenn der Plattenresonator mikromechanisch in Ätztechnologie erzeugt wird, da die stegartigen Aufhängungen auf einfache Weise durch Ätzen aus den vollen Basismaterialien erzeugt werden können.

Gemäß einer besonderen Ausgestaltung ist vorgesehen, dass der Plattenresonator in einen Schichtverband integriert ist, wobei der Plattenresonator durch eine der Schichten gebildet ist. Der Aufbau des Plattenresonators und seiner Umgebung in Schichtform hat den Vorteil, dass dies einer mikromechanischen Herstellung des Detektors entgegen kommt. Die Schichten können abhängig vom Fertigungsverfahren unterschiedliche Eigenschaften aufweisen, so dass sich beispielsweise die Schicht, die unter dem Plattenresonator liegt, auf einfache

Weise durch eine Ätzbehandlung entfernen lässt. Weiterhin können Ätzschritte durchgeführt werden, die vor einer Endmontage des Schichtverbandes zu dem Schichtstapel erfolgen.

- 5 Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn in dem Detektor der Anregungsmechanismus durch Elektroden gebildet wird, die unter Ausbildung eines Spaltes dem Rande des Plattenresonators benachbart angeordnet sind. Insbesondere bietet sich diese Konstruktion an, wenn der Plattenresonator in einer Vertiefung
10 des Substrats, in der er hergestellt wird, befindlich ist. Die Elektroden können dann in die die Vertiefung tragende Struktur integriert werden.

Das Funktionsprinzip der Elektroden als Anregungsmechanismus
15 beruht auf elektrostatischen Kräften, die aufgrund der Ausbildung des elektrostatischen Feldes in Nachbarschaft der Elektroden und dessen Überschneidung mit dem Material des Plattenresonators zurückzuführen ist.

- 20 Weiterhin kann der Anregungsmechanismus vorteilhaft auch durch einen Piezokristall gebildet werden, der seine Schwingungen über den Aufhängungsmechanismus auf den Plattenresonator überträgt. Dies hat den Vorteil, dass eine Krafteinleitung direkt an der Aufhängung des Plattenresonators erfolgt,
25 wodurch sich die Ausbildung der Schwingungsmoden unterstützen lässt. Der oder die Piezokristalle können alternativ aber auch als Schicht auf dem Plattenresonator aufgebracht sein, so dass eine Schwingungsanregung vorteilhaft beispielsweise in die Unterseite des Plattenresonators eingeleitet werden kann.
30 Beispiele für Piezokristalle als Anregungsmechanismus finden sich in G. Piazza et al. „Single-Chip Multiple-Frequency Filters based on Contour-Mode Aluminum Nitride piezoelectric micromechanical Resonators“, 13th International Conference on

Solid State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2005) Seoul, Korea June 2005.

Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Auslegen
5 des Schwingungsverhaltens eines Detektors, wie dieser vorstehend beschrieben wurde. Hierdurch wird die genannte Aufgabe dahingehend gelöst, dass durch eine gezielte Auslegung unter Berücksichtigung der besonderen Gegebenheiten der konstruktiven Ausgestaltung des Plattenresonators in der beschriebenen
10 Weise die Empfindlichkeit des Detektors optimiert werden kann.

Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass durch Variation der Schichtdicke der Schicht ein Optimum für die Nachweis-
15 empfindlichkeit des Detektors ermittelt wird. Bei der Auslegung des Plattenresonators wird damit dem Umstand Rechnung getragen, dass die erfindungsgemäß auf den Plattenresonator aufgebrachte Schicht das schwingungsfähige System an sich dämpft, wobei die Dämpfungswirkung um so größer wird, je dicker die Schicht ausgeführt ist. Demgegenüber steht jedoch der bereits erwähnte überraschende Effekt, dass die Aufbringung der Schicht auf den Plattenresonator bewirkt, dass die sich bei einer Anregung ausbildenden Eigenschwingungsformen nur einen geringen weiteren Anstieg der Dämpfung durch die
20 angrenzenden Gasmoleküle bewirken. Da die Dämpfung aufgrund der Gasmoleküle im Verhältnis zur Dämpfung aufgrund der Anbringung der Schicht keinen großen Einfluss auf die Dämpfung bildet, kann die Auslegung der Schichtdicke der Schicht vorrangig von deren jeweils zu ermittelnden Einfluss auf die
25 Schwingungsmoden erfolgen, so lange sich die Schwingungsmoden hinsichtlich einer größeren Nachweisempfindlichkeit aufgrund einer stärkeren Abhängigkeit des Schwingungsverhaltens von angelagerten Teilchen positiv auswirken. Die Vergrößerung der

30

Dämpfung aufgrund der Schichtdicke kann dabei hingenommen werden, da das Gesamtergebnis der resultierenden Detektorempfindlichkeit sich insgesamt verbessert. Ein Optimum kann beispielsweise mit Finite Elemente-Methoden berechnet werden.

5 Soweit die konstruktive Ausgestaltung des Detektors von den Berechnungen abweicht, kann durch die verhältnismäßig einfach durchzuführende Variation der Schichtdicke der Schicht iterativ das reale Optimum der Nachweisempfindlichkeit aufgefunden werden, ohne dass die Konstruktion des Plattenresonators
10 selbst verändert werden müsste. Auch kann ohne großen Aufwand mit unterschiedlichen Schichtmaterialien experimentiert werden.

Weitere Einzelheiten der Erfindung werden nachfolgend anhand
15 schematischer Ausführungsbeispiele beschrieben. In den Figuren werden gleiche oder sich entsprechende Elemente jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen und nur insoweit mehrfach erläutert, wie sich Unterschiede zwischen den einzelnen Figuren ergeben. Es zeigen

20

Figur 1 einen Schnitt durch den erfindungsgemäßen Detektor mit einer zentralen Aufhängung,

Figur 2 die Aufsicht auf ein Ausführungsbeispiel des
25 erfindungsgemäßen Detektors mit einer stegartigen Aufhängung an den Ecken, und

Figur 3 bzw. 4 verschiedene Schwingungsmoden eines Ausführungsbeispiels des in dem erfindungsgemäßen
30 Detektor zum Einsatz kommenden Plattenresonators mit zentraler Aufhängung.

Gemäß Figur 1 ist ein Detektor für Gasmoleküle dargestellt, der aus einem Plattenresonator 11 besteht, wobei der Plattenresonator eine Schicht 12 trägt, auf der die nachzuweisenden Gasmoleküle angelagert werden (nicht dargestellt). Der Plattenresonator 11 ist in einer Vertiefung 13 untergebracht, die in Ätztechnologie in einem Schichtverband 14 ausgebildet ist. In der Vertiefung 13 ist der Plattenresonator 11 auf einer säulenartigen Aufhängung 15 gelagert, so dass die sich zum Rand des Plattenresonators 11 erstreckenden Areale frei schwingen können.

Alternativ kann die säulenartige Aufhängung auch durch einen lediglich strichpunktiert dargestellten Piezokristall 16 gebildet sein, der in diesem Fall den auf ihm ruhenden Plattenresonator 11 zu Schwingungen anregen kann. Piezokristalle 16a können gemäß einer anderen Alternative auch an der Unterseite (der Schicht 12 gegenüberliegend) des Plattenresonators angebracht sein, um eine flächige Schwingungsanregung des Plattenresonators zu bewirken.

20

Die säulenartige Aufhängung 15 bildet gleichzeitig eine Elektrode, welche über eine Durchkontaktierung 17 in der oberen Schicht des Schichtverbandes 14 und eine Leitstrecke 18 in der unteren Schicht des Schichtverbandes 14, die gleichzeitig den Boden 19 der Vertiefung bildet, elektrisch kontaktierbar ist. Weitere Elektroden 20 sind in den Rand der Vertiefung 13 integriert und den Seitenkanten des Plattenresonators 11 unter Bildung eines Spaltes 21 benachbart. Um den Plattenresonator 11 zu Schwingungen anzuregen, können die Elektroden 20 sowie die säulenartige Aufhängung 15 über Leiterbahnen 22, die auf der Oberseite des Schichtverbandes 14 verlaufen, mit einer Wechselspannungsquelle verbunden werden.

10

Alternativ kann die säulenartige Aufhängung 15 auch geerdet werden.

Sobald sich an der Oberfläche 23 der Schicht 12 Gasmoleküle
5 anlagern, verändert sich aufgrund einer Veränderung der
schwingenden Masse des Plattenresonators 11 dessen Resonanz-
frequenz. Die Verschiebung der Resonanzfrequenz kann bei-
spielsweise dadurch gemessen werden, dass durch Modifikation
der Anregung die neue Resonanzfrequenz aufgefunden wird. Eine
10 andere Möglichkeit ist die Ermittlung der aufgrund der Ver-
schiebung der Resonanzfrequenz resultierenden Vergrößerung
der Dämpfung. Aus der Dämpfung bzw. aus der Verschiebung der
Resonanzfrequenz kann weiterhin auf die Erhöhung der schwin-
genden Masse des Plattenresonators 11 und damit auf die Masse
15 der angelagerten Teile rückgeschlossen werden.

Damit bilden die Leiterbahnen 22 auch eine Schnittstelle 24
zur Ermittlung des Detektionsergebnisses.

20 Der Figur 2 kann ein alternativer Aufbau des Plattenresona-
tors 11 entnommen werden. Dieser besitzt eine quadratische
Fläche, die an ihren vier Ecken jeweils mit einer stegartigen
Aufhängung 25 versehen ist. Dabei ist der gesamte Aufbau des
Detektors zentralsymmetrisch ausgebildet. Mit den stegartigen
25 Aufhängungen 25 wird der Plattenresonator 11 in der Vertie-
fung 13 in der Schwebe gehalten, so dass dieser den nicht zu
erkennenden Boden der Vertiefung 13 nicht berührt. Die
Schicht 12 ist entsprechend dem Ausführungsbeispiel gemäß Fi-
gur 1 auf der Oberfläche des Plattenresonators 11 angebracht.

30

Eine Anregung des Plattenresonators gemäß Figur 2 erfolgt ü-
ber die Elektroden 20, die sich jeweils entlang den Seiten-
kanten des quadratischen Plattenresonators 11 erstrecken.

11

Durch eine geeignete Schaltung der Elektroden 20 wird eine Schwingungsanregung für den Plattenresonator 11 erreicht, mit dem sich die gewünschten Schwingungsmoden erzeugen lassen.

5 In den Figuren 3 und 4 sind die Schwingungsmoden erster und zweiter Ordnung eines quadratischen Plattenresonators gemäß Figur 1 stark überhöht dargestellt. Anders als bei den Schwingungsformen, die gemäß der vorstehend erwähnten Veröffentlichungen von Kaajakari und Pourkamali lediglich in der Ebene der Ausdehnung des Plattenresonators ausgebildet sind,
10 werden die Elemente des Plattenresonators gemäß den Figuren 3 und 4 nicht nur in der x-y-Ebene der Ausdehnung des Plattenresonators 11 erreicht, sondern es erfolgt auch eine Auslenkung in z-Richtung. Das Koordinatensystem ist in der linken, unteren Ecke des Plattenresonators 11 dargestellt. Eine Kon-
15 tur 26 des unverformten Plattenresonators ist ebenfalls dargestellt, um den Verformungszustand des Plattenresonators zu verdeutlichen. Weiterhin ist ein Bereich 27, in der die Aufhängung 15 auf der gegenüberliegenden, nicht dargestellten
20 Seite des Plattenresonators angreift, durch eine strichpunktierte Linie angedeutet. Für ausgewählte Punkte des Plattenresonators wird weiterhin die x-Komponente, die y-Komponente und die z-Komponente dargestellt, wodurch noch einmal hervor-
25 gehoben wird, dass die Auslenkung der Elemente des Plattenresonators auch in z-Richtung erfolgt.

Figur 3 stellt den Schwingungsmodus des Plattenresonators 11 erster Ordnung dar. Dieser lässt sich näherungsweise so be-
30 schreiben, dass der quadratische Resonator an zwei gegenüberliegenden Seiten eingeschnürt wird und die beiden anderen gegenüberliegenden Seiten auseinander gedrückt werden (Bewegungen in der Ebene des Plattenresonators). Weiterhin werden die jeweils sich gegenüberliegenden Kanten des Plattenreso-

nators in jeweils entgegengesetzter z-Richtung aus der Ebene des Plattenresonators heraus bewegt. Hierbei wird deutlich, dass gesehen über die gesamte Platte die Auslenkungen in der z-Achse näherungsweise aufheben, wodurch das Gas an der

5 Grenzschrift des Plattenresonators nicht vollständig verdrängt werden muss, sondern lediglich zwischen den einzelnen Bereichen der Platte verschoben werden muss. Hierdurch lässt sich die geringe Dämpfung der Schwingungen des Plattenresonators erklären.

10

Bei dem Schwingungsmodus des Plattenresonators gemäß Figur 4 handelt es sich um den Schwingungsmodus zweiter Ordnung. Dieser lässt sich vereinfacht beschreiben, wenn man den quadratischen Plattenresonator in vier Quadranten teilt. Jeder dieser Quadranten bildet in seiner Mitte einen Bauch, in dem die

15 Elemente des Plattenresonators in positive z-Richtung ausgelenkt werden. Demgegenüber werden die jeweiligen Ecken des Quadranten in negativer z-Richtung ausgelenkt. Insgesamt ist somit die Auslenkung in z-Richtung ähnlich wie bei dem

20 Schwingungsmodus gemäß Figur 3 ausgeglichen, wobei sich die Ausgeglichenheit auf jeden der Quadranten bezieht. Daher sind die Areale, in denen die an den Plattenresonator angrenzenden Gasmoleküle verschoben werden müssen, vorteilhaft noch kleiner, als bei dem Schwingungsmodus gemäß Figur 3, wodurch die

25 Dämpfung bei den Schwingungen des Plattenresonators weiter verringert werden.

Patentansprüche

1. Detektor zum Nachweis von Teilchen, insbesondere Gasmolekülen, in einer gasförmigen Atmosphäre, aufweisend

- 5 - ein schwingungsfähiges System mit einer Oberfläche (23),
 die spezifisch die nachzuweisenden Teilchen an sich binden
 kann,
 - einen Anregungsmechanismus (16, 20), der zur Schwingungs-
 anregung Energie in das schwingungsfähige System einleiten
10 kann und
 - eine Schnittstelle (24) zum Auslesen einer Messgröße, die
 sich abhängig von der Frequenz des schwingungsfähigen Sys-
 tems ändert,

dadurch gekennzeichnet,

- 15 dass das schwingungsfähige System durch einen in mikromecha-
 nischer Bauweise ausgeführten Plattenresonator (11) ausgebil-
 det ist, der mit einer Schicht (12) beschichtet ist, die die
 Oberfläche (23) für die nachzuweisenden Teilchen zur Verfü-
 gung stellt.

20

2. Detektor nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Plattenresonator (11) im Flächenschwerpunkt mit ei-
ner säulenartigen Aufhängung (15) gehalten ist.

25

3. Detektor nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

- dass der Plattenresonator (11) am Rand mit einer oder mehre-
ren gleichmäßig verteilten stegartigen Aufhängungen (15) in
30 einer Vertiefung (13) gehalten ist.

14

4. Detektor nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Plattenresonator in einen Schichtverband (14) integriert ist, wobei der Plattenresonator durch eine der Schichten gebildet ist.

5. Detektor nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Anregungsmechanismus durch Elektroden (20) gebildet wird, die unter Ausbildung eines Spaltes (21) dem Rande des Plattenresonators (11) benachbart angeordnet sind.

6. Detektor nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Anregungsmechanismus durch einen Piezokristall (16) gebildet ist, der seine Schwingungen über den Aufhängungsmechanismus auf den Plattenresonator (11) überträgt.

7. Detektor nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Anregungsmechanismus durch mindestens einen Piezokristall (16a) gebildet ist, der als Schicht auf dem Plattenresonator (11) aufgebracht ist.

8. Verfahren zum Auslegen des Schwingungsverhaltens eines Detektors nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass durch Variation der Schichtdicke (12) ein Optimum für die Nachweisempfindlichkeit des Detektors ermittelt wird.

FIG 1

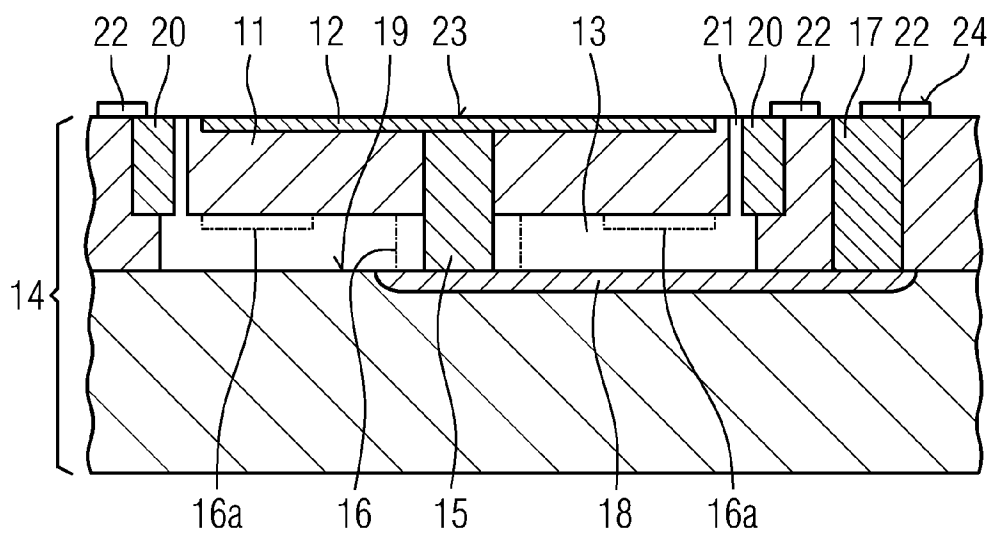


FIG 2

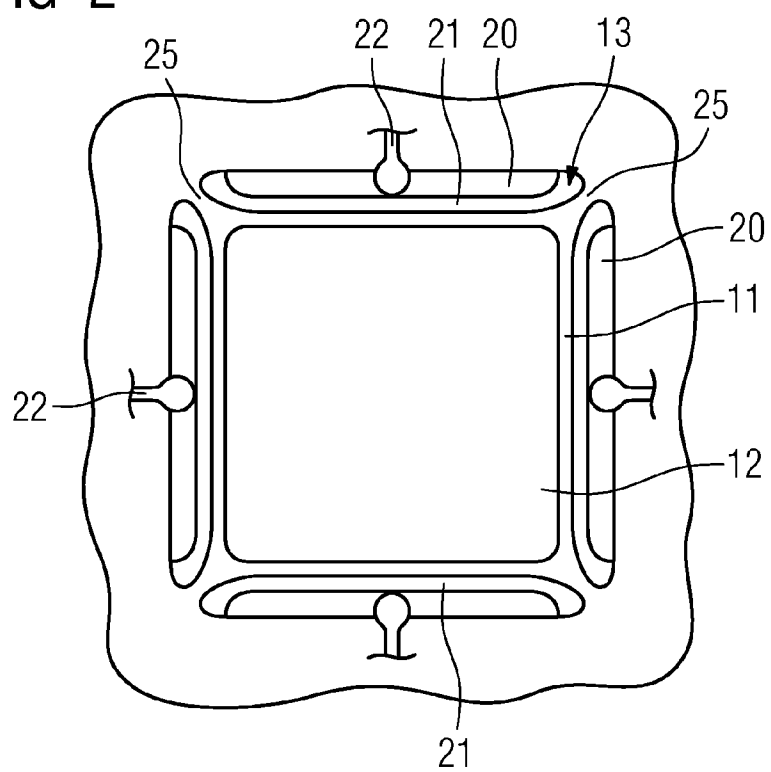


FIG 3

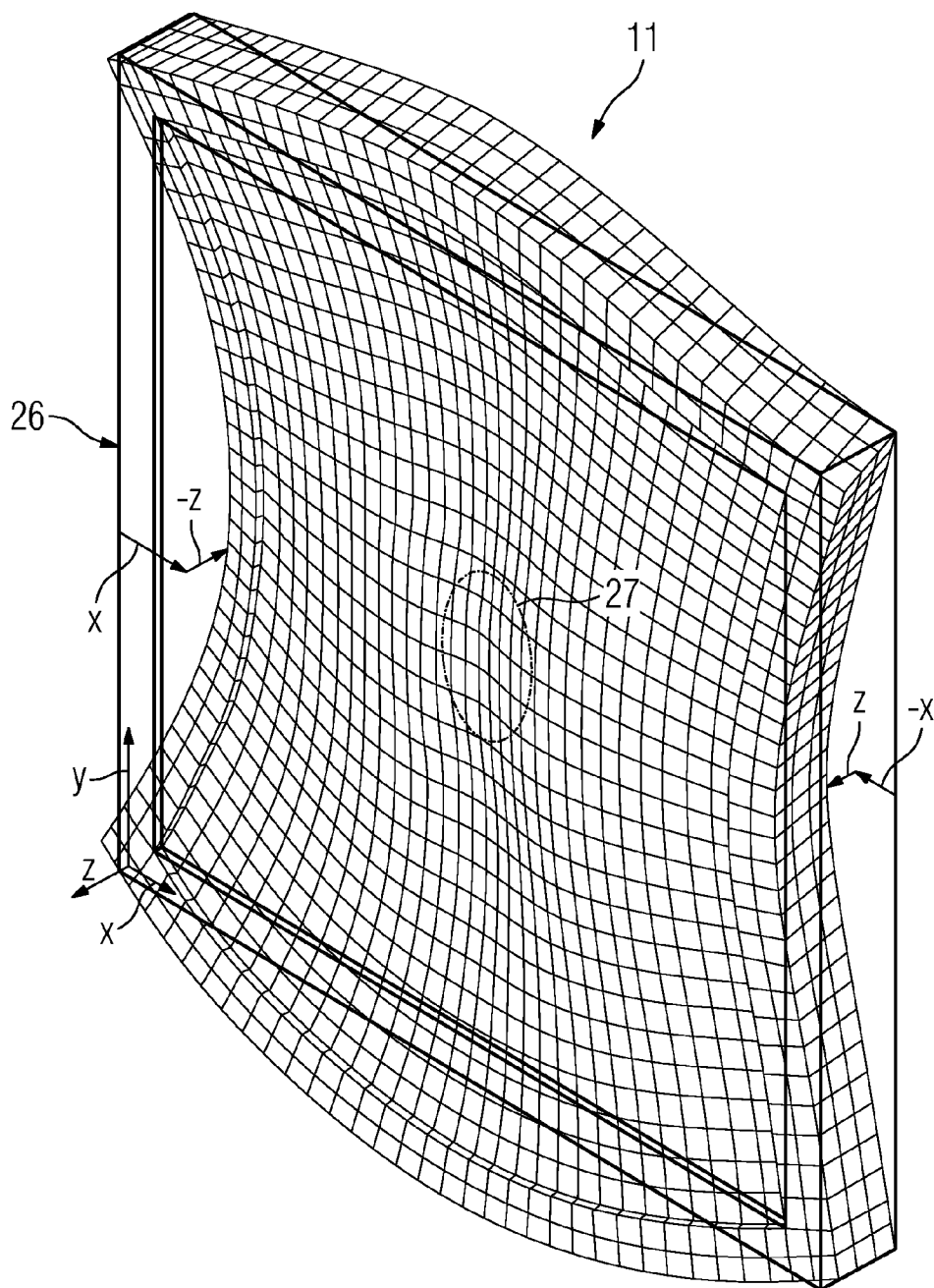
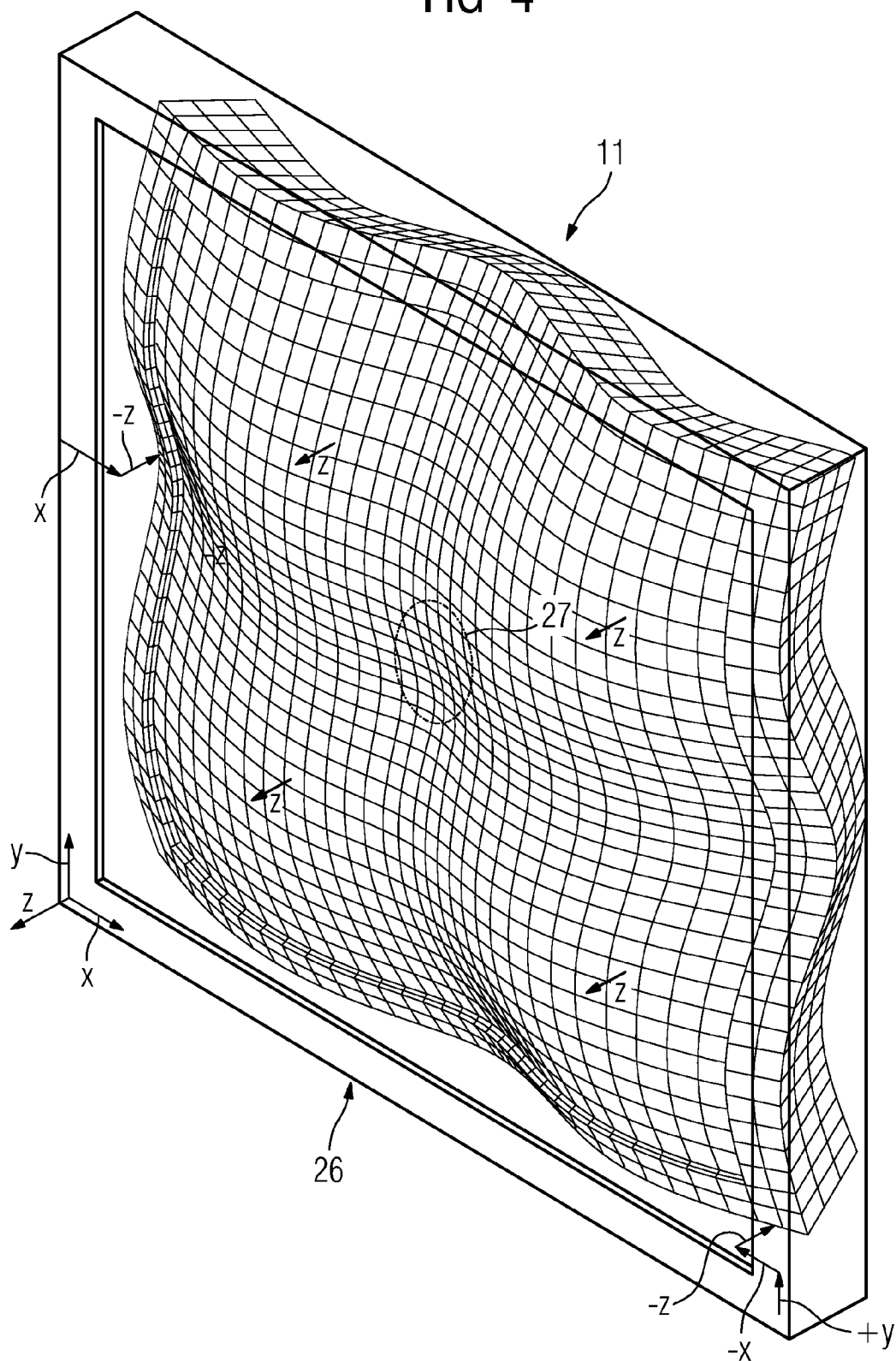


FIG 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2006/063848

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01N29/02 G01N29/036 G01N33/00 H03H3/007 B81B3/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N H03H B81B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 910 286 A (LIPSKIER ET AL) 8 June 1999 (1999-06-08)	1,4,7
Y	abstract; figures 2A,2B,3	2,3,5
A	column 4, line 27 - column 5, line 21	6,8
X	GRATE AND FRYE: "Acoustic Wave Sensors" SENSORS UPDATE, 1996, pages 37-83, XP002205093	1
Y	abstract; figures 2.1,2.4 page 47, paragraph 1 - page 48, paragraph 1 page 57, last paragraph - page 59, paragraph 3	2,3
	----- -/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 October 2006

Date of mailing of the international search report

12/10/2006

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Uttenthaler, Erich

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2006/063848

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	<p>KAAJAKARI V ET AL: "Square-extensional mode single-crystal silicon micromechanical rf-resonator" TRANSDUCERS, SOLID-STATE SENSORS, ACTUATORS AND MICROSYSTEMS, 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2003, PISCATAWAY, NJ, USA,IEEE, vol. 2, 9 June 2003 (2003-06-09), pages 951-954, XP010647855 ISBN: 0-7803-7731-1 cited in the application abstract; figures 1,2 page 951, left-hand column, lines 1,2 page 954, left-hand column, paragraph 3</p>	2
Y	<p>POURKAMALI S ET AL: "SOI-based rf and vhf single-crystal silicon resonators with sub-100 nanometer vertical capacitive gaps" TRANSDUCERS, SOLID-STATE SENSORS, ACTUATORS AND MICROSYSTEMS, 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2003, PISCATAWAY, NJ, USA,IEEE, vol. 1, 9 June 2003 (2003-06-09), pages 837-840, XP010646838 ISBN: 0-7803-7731-1 cited in the application abstract; figures 1,2,7 page 837, left-hand column, last paragraph - right-hand column, paragraph 1</p>	3
Y	<p>US 2002/105393 A1 (CLARK JOHN R ET AL) 8 August 2002 (2002-08-08) abstract; figures 1a,1b paragraphs [0046], [0049]</p>	2,5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2006/063848

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5910286	A	08-06-1999	EP 0756707 A1 05-02-1997
			FR 2730810 A1 23-08-1996
			WO 9626435 A1 29-08-1996
			JP 9512345 T 09-12-1997
US 2002105393	A1	08-08-2002	US 6856217 B1 15-02-2005

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/063848

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G01N29/02 G01N29/036 G01N33/00 H03H3/007 B81B3/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G01N H03H B81B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 910 286 A (LIPSKIER ET AL) 8. Juni 1999 (1999-06-08)	1,4,7
Y	Zusammenfassung; Abbildungen 2A,2B,3	2,3,5
A	Spalte 4, Zeile 27 - Spalte 5, Zeile 21	6,8
X	GRATE AND FRYE: "Acoustic Wave Sensors" SENSORS UPDATE, 1996, Seiten 37-83, XP002205093	1
Y	Zusammenfassung; Abbildungen 2.1,2.4 Seite 47, Absatz 1 - Seite 48, Absatz 1 Seite 57, letzter Absatz - Seite 59, Absatz 3	2,3

-/-

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. Oktober 2006

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

12/10/2006

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Uttenhaler, Erich

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	<p>KAJAKARI V ET AL: "Square-extensional mode single-crystal silicon micromechanical rf-resonator"</p> <p>TRANSDUCERS, SOLID-STATE SENSORS, ACTUATORS AND MICROSYSTEMS, 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2003, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, Bd. 2, 9. Juni 2003 (2003-06-09), Seiten 951-954, XP010647855</p> <p>ISBN: 0-7803-7731-1</p> <p>in der Anmeldung erwähnt</p> <p>Zusammenfassung; Abbildungen 1,2</p> <p>Seite 951, linke Spalte, Zeilen 1,2</p> <p>Seite 954, linke Spalte, Absatz 3</p>	2
Y	<p>POURKAMALI S ET AL: "SOI-based rf and vhf single-crystal silicon resonators with sub-100 nanometer vertical capacitive gaps"</p> <p>TRANSDUCERS, SOLID-STATE SENSORS, ACTUATORS AND MICROSYSTEMS, 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2003, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, Bd. 1, 9. Juni 2003 (2003-06-09), Seiten 837-840, XP010646838</p> <p>ISBN: 0-7803-7731-1</p> <p>in der Anmeldung erwähnt</p> <p>Zusammenfassung; Abbildungen 1,2,7</p> <p>Seite 837, linke Spalte, letzter Absatz - rechte Spalte, Absatz 1</p>	3
Y	<p>US 2002/105393 A1 (CLARK JOHN R ET AL)</p> <p>8. August 2002 (2002-08-08)</p> <p>Zusammenfassung; Abbildungen 1a,1b</p> <p>Absätze [0046], [0049]</p>	2,5

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/063848

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5910286	A	08-06-1999	EP	0756707 A1	05-02-1997
			FR	2730810 A1	23-08-1996
			WO	9626435 A1	29-08-1996
			JP	9512345 T	09-12-1997
<hr/>					
US 2002105393	A1	08-08-2002	US	6856217 B1	15-02-2005
<hr/>					